

Zeitschrift: Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG

Herausgeber: Eisenbibliothek

Band: 81 (2009)

Artikel: Eisenbearbeitung im Mittelalter und in der frühen Neuzeit. Konrad von Werden, Leonardo da Vinci, die Nürnberger Hausbücher und zwei Iserlohner Urkunden

Autor: Kraft, Thomas

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-378452>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

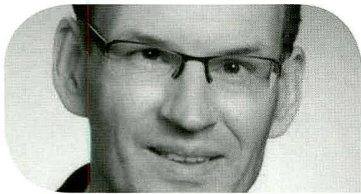
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 27.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>



Eisenbearbeitung im Mittelalter und in der frühen Neuzeit. Konrad von Werden, Leonardo da Vinci, die Nürnberger Hausbücher und zwei Iserlohner Urkunden

Dr. Thomas Kreft

Geboren 1967 in Westfalen. Werkzeugmacherlehre, Studium der Geschichte, Baugeschichte und Geographie an der RWTH Aachen und an der University of Nottingham. Promotion über die Eisenverarbeitung im Mittelalter. 2002 Verleihung des Rudolf-Kellermann-Preises für Technikgeschichte. Ausbildung zum Redakteur 2003 in Köln. Thomas Kreft arbeitet seit zehn Jahren als freier Journalist im Rheinland und in Belgien.

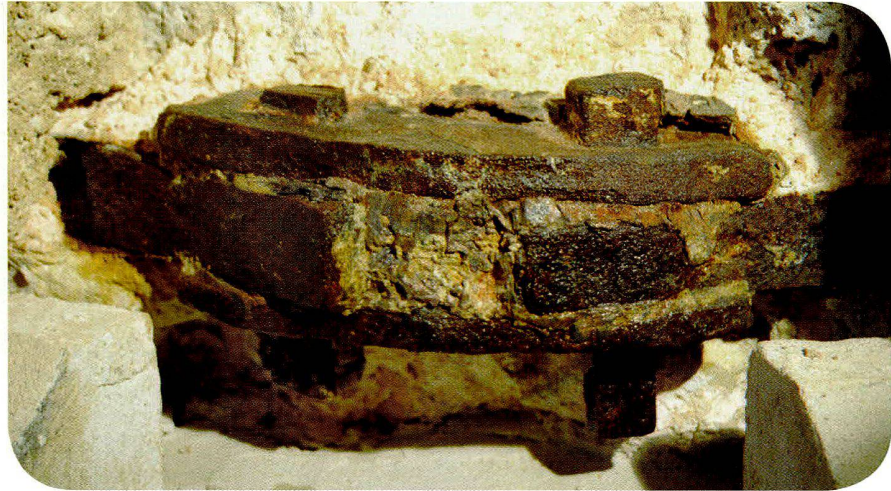


Bild 1: Ringanker im Aachener Dom, um 800. (Foto: T. Kreft)

Anhand einiger Beispiele legt der Autor dar, wie sich die Technik im späten Mittelalter und in der frühen Neuzeit entwickelt hat und welche Aussagekraft die verfügbaren Quellen haben. Branchenspezifisch geht es um die Schritte der Eisenverarbeitung, die dem Schmieden nachgeordnet sind. Konkret sind dies in diesem Beitrag: Drahtherstellung, Feilenherstellung, Schneiden und Verwenden von Gewinden, die Drehmaschine und der Einsatz der Wasserkraft. Vier Quellengruppen werden dazu exemplarisch analysiert: die Nürnberger Hausbücher, der 2006 erstmals edierte Mechaniktraktat des Konrad Gruter von Werden, die Aufzeichnungen des Leonardo da Vinci sowie einige Urkunden. Der Wechselwirkung zwischen Mensch und Technik widmet sich ein eigener Abschnitt.

Using various examples, the author discusses the development of technology in the late Middle Ages and the early modern period and the informative value of the available sources. He looks specifically at how ironworking developed subsequent to forging. In this article: wire manufacture, file manufacture, cutting and use of threads, the lathe and the use of waterpower are discussed. Four sources serve as examples in the analysis: the Nuremberg Housebooks, the Mechanical Treatise of Konrad Gruter von Werden, edited for the first time in 2006, the Notebooks of Leonardo da Vinci and other documents. A separate section is dedicated to the interaction between man and technology.

Der westfälische Industriepionier Friedrich Harkort hat nicht ganz unrecht, wenn er 1833 konstatiert: «Die Chroniker des Mittelalters haben eine Masse unnützer Raufereien verewigt; suchen wir dagegen Nachrichten über Handel, Gewerbe und Entwicklung des dritten Standes, dann sind die Lücken... bedeutend.»¹ In der Tat ist die Quellenlage zur vorindustriellen Zeit mager und interpretationsbedürftig, umso mehr wir in die Vergangenheit zurückgehen. Die Aachener Münsterkirche gibt beredtes Zeugnis über die technischen Möglichkeiten in der Zeit Kaiser Karls d.Gr.: Die drei eisernen Ringanker des Zentralbaus sind schriftlich nicht überliefert, und sie existieren doch. 2003 wurden sie freigelegt und untersucht.² Betrachtet man, in welchem Umfang die Reichsannalen und andere karolingische Quellen über Kriegszüge berichten, so ist das Desinteresse der Schreiber am Eisengewerbe, das so wichtig für die Kriegsausrüstung war, doch ziemlich erstaunlich.

Ähnlich steht es mit den rund 1750 Eisenrennfeueröfen aus der Zeit vom 8. bis 13. Jahrhundert, die im rechtsrheinischen Schiefergebirge archäologisch nachgewiesen sind – kein einziger ist schriftlich belegt. Auch zur nachfolgenden Flossofengeneration tauchen die Textquellen erst zögerlich auf, während archäologisch allein schon aus dem 13. Jahrhundert 19 Standorte im bergisch-sauerländischen Raum gesichert sind.³ Im späten Mittelalter nimmt auch die schriftliche Überlieferung der Eisen-Weiterverarbeitung deutlich zu.

Viele Dokumente sind lange bekannt, erfahren aber durch neue Herangehensweise neue Bewertung. Manches wird auch in unserer Zeit noch in den Archiven entdeckt. So veröffentlichte der Mediävist Werner Paravicini 1997 als Zufallsfunde aus französischen Beständen zwei wichtige Urkunden von 1390 und 1467 über Solinger Eisenwarenlieferungen nach Paris.⁴ Auch der Mechaniktraktat des Konrad Gruter von Werden ist zu nennen, der 2006 erstmals ediert wurde. Diese Ab-



Bild 2: Mendelsches Hausbuch: Drahtzieher im Windenverfahren, 1425/26; Zieheisen und Kurbeln fehlen. [Quelle: Stadtbibliothek Nürnberg, Amb. 317,2°]

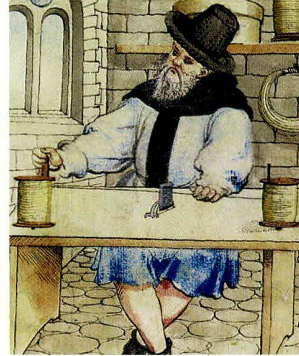


Bild 3: Mendelsches Hausbuch: Drahtzieher im Windenverfahren, 1529. [Quelle: Stadtbibliothek Nürnberg, Amb. 317,2°]

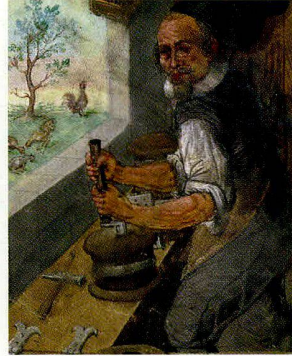


Bild 4: Landauersches Hausbuch: Drahtzieher im Windenverfahren, 1649. [Quelle: Stadtbibliothek Nürnberg, Amb. 279,2°]



Bild 5: Mendelsches Hausbuch: Drahtzieher im Zangenverfahren, 1425/26. [Quelle: Stadtbibliothek Nürnberg, Amb. 317,2°]

handlung aus dem Jahre 1424 wird im Folgenden neben Leonardos Aufzeichnungen, zwei Urkunden zum Iserlohner Drahtgewerbe und den Nürnberger Hausbüchern exemplarisch erörtert.

Die Hausbücher der Nürnberger Zwölfbrüderstiftungen

Über Jahrhunderte existierten in Nürnberg die sogenannten Zwölfbrüderstiftungen. Die beiden vor 200 Jahren aufgelösten Altenheime sind heute noch wegen ihrer Hausbücher und der darin enthaltenen Handwerkerbilder berühmt. Im Jahre 1388 gründete Konrad Mendel d. Ä. die erste, die Mendelsche Zwölfbrüderstiftung auf der Lorenzer Seite am Kornmarkt Ecke Kartäusergasse. Es sollten nur altgediente Handwerker mit Bürgerrecht dort Aufnahme finden. 1807 wurde die Institution dem Heiliggeistspital einverleibt, die Gebäude veräußert. Dem Zwölfbrüderhaus stand ein Pfleger vor, der nach heutigem Verständnis die leitende Position eines Rektors einnahm. Bis zum Aussterben der Stifterfamilie Mendel, die zu den ältesten ratsfähigen Geschlechtern gehörte, nahmen vornehmlich deren Mitglieder diese Aufgabe wahr.⁵ Im Jahre 1510 schuf der Schmelz- und Hüttenherr Matthäus Landauer nach dem Vorbild der Mendelschen Stiftung die Landauersche Zwölfbrüderstiftung.⁶ Sie lag auf der Sebalder Seite in der Landauergerasse.

Die drei ausschliesslich aus Papierblättern bestehenden Mendelschen Hausbücher enthalten 861 Bildseiten. Das erste Buch, das Wilhelm Treue und Rudolf Kellermann u.a. 1965 publiziert haben, hat der Pfleger Marquard Mendel anlegen lassen. Es endet 1549.⁷ Auf den ersten Blättern bis fol. 46v verzeichneten der Maler und der Schreiber posthum undatiert die bis dahin eingetretenen Brüder. Datierbare Ausnahmen sind lediglich die Darstellungen der Pfleger Peter Mendel

(1414) und Wilhelm Mendel (1423). Die aufgenommenen Brüder sind durchnummeriert und offensichtlich nach Eintritts- oder Sterbereihenfolge angeordnet und lassen sich zeitlich somit ungefähr einordnen. Fol. 46v datiert mit dem 6. November 1425 den Amtsantritt des Marquard Mendel und, von anderer Hand, seinen Tod 1438. Auf fol. 47r setzen mit dem 6. März 1426 die Darstellungen datierter Todeseinträge ein. Daraus ergibt sich als Zeitstellung für die vorangegangenen Blätter der Winter 1425/26, wobei die Verzögerung von einigen Monaten nicht auszuschliessen ist.

Die Landauerschen Hausbücher zu zwei Bänden beginnen 1511, ein Jahr nach Gründung der Stiftung. Sie enthalten 569 Bildseiten aus Pergament. Eine gewisse Einheitlichkeit der Abbildungen in den Hausbüchern erklärt sich durch die Statuten beider Stiftungen. Die Brüder trugen anfangs gegürtete Kutten verschiedener Farbe mit einer Gugel (Schulterkragen mit angeschnittener Kapuze) und seit dem frühen 16. Jahrhundert einen flachen Filzhut. Im 18. Jahrhundert trug man wadenlange schwarze Mäntel und schwarze dreieckige Filzhüte.⁸ Einzelne Arbeitsgegenstände ersetzen nun wie Attribute den Arbeitsplatz als Erkennungsmerkmal des Berufs.

Ungeachtet ihrer grossen Bedeutung für die Geschichtswissenschaft blieben die Hausbücher, mit Ausnahme des Bandes Mendel I, bis heute unediert. Derzeit arbeiten die Stadtbibliothek Nürnberg als Eigentümerin der Hausbücher und das Germanische Nationalmuseum die Bücher neu für die Nutzung im Internet auf. Das Projekt unter der Leitung von Dr. Christine Sauer bei der Mitarbeit von Dr. Sven Hauschke und Georg Hohmann M.A. wird durch die DFG unterstützt. Inzwischen sind die Bücher vollständig abrufbar. Auf der Internetseite www.nuernberger-hausbuecher.de ist die Sortierung nach Berufen, Berufsgruppen, Nachnamen, Arbeitsge-

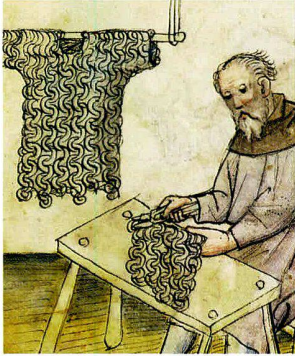


Bild 6: Mendelsches Hausbuch: Panzermacher, 1425/26. [Quelle: Stadtbibliothek Nürnberg, Amb. 317,2°]



Bild 7: Meisterzeichenringe im Iserlohner Panzerhemd, 15. Jh., im Royal Armouries Museum Leeds. (Foto: Tower Museum, London)



Bild 8: Mendelsches Hausbuch: Feilenhauer, 1425/26; Meissel fehlt. [Quelle: Stadtbibliothek Nürnberg, Amb. 317,2°]

räten, Materialien, Erzeugnissen und Krankheiten möglich. Die folgende Untersuchung der Eisenberufe beschränkt sich auf die Darstellungen von Drahtzügen, Feilen, Schraubstöcken und Drehmaschinen.

Der Begriff Draht leitet sich sprachlich vom Drehen schmaler Blechstreifen ab, doch schon in der Antike war das Ziehen von Draht bekannt.⁹ Dazu spitzt man einen Metallstab an und zieht ihn durch das Loch einer gehärteten Stahlplatte: das Zieheisen. Das Loch muss etwas enger sein als der Querschnitt des Stabes. Grober Draht liess sich in einem Arbeitsgang um 8% und Feindraht um 15% verdünnen, ohne zu reissen.¹⁰

Zum Ziehen feinen Drahtes benutzte man die Winde (auch als Rolle oder Leier bezeichnet), die man kurbelte und den Draht dabei zugleich durch das Zieheisen zog und aufspulte. Die Nürnberger Hausbücher zeigen 18 Darstellungen von diesem Verfahren, wobei der Drahtzieher – oder Drahtzöger, wie der Beruf im Westfälischen auch genannt wird¹¹ – an einem Tisch sitzt und den Draht jeweils von einer Rolle auf die andere zieht. Die Ansicht auf Mendel I fol. 12r ist die älteste bildliche Überlieferung dieses Verfahrens überhaupt. Sie stammt von 1425/26. Der Text dazu lautet: «Der xxix Bruder der so starb hieß Gorg vnd was ein leyrintzieher.» Gemäss der Reihenfolge im Buch dürfte er um 1400 gestorben sein. Das Bild weist zwei gravierende Fehler auf: Das Zieheisen fehlt, und die Winden haben keine Kurbeln.

Die Diskussion während der Technikgeschichtlichen Tagung in Schaffhausen ergab Zweifel ob der Richtigkeit dieser Darstellungen. Draht lasse sich bei aller Kraftanstrengung von Hand gar nicht ziehen, so der Einwand. Sind die Nürnberger Illustrationen also nur Illusionen, weil nicht sein kann, was nicht sein darf? Gewiss nicht, Draht liess sich eben nur in kleinen Schritten verjüngen. Technologisches Wissen hilft

dem Historiker, die mittelalterlichen Darstellungen zu konkretisieren und zu verstehen. Die Unzulänglichkeiten der Nürnberger Handwerkerbilder resultieren daraus, dass die Illustratoren die Arbeitsgänge nicht unbedingt genau kannten und im Brüderhaus selbst auch keine Berufe mehr ausgeübt wurden. Im Hause selber konnten sie sich also kein unabhängiges Bild vom Handwerk verschaffen. Die Bücher dienten letztendlich nicht dazu, technische Details zu vermitteln. Als Memorienbücher sollten sie die Erinnerung an die Brüder wachhalten und die Besetzung der Stiftungsplätze mit rechtsschaffenen Handwerkern bezeugen.

Die weiteren Abbildungen enthalten schliesslich die zuvor vermissten Zieheisen und Kurbeln. Eine Darstellung in Landauer I, fol. 120r veranschaulicht anno 1649 auch, welche grosse Kraft der Drahtzieher aufwenden musste: Abweichend von den sonst eher statisch wirkenden Darstellungen hat der Illustrator hier einen kraftstrotzenden Arbeiter in der Dynamik des Tuns verewigt. Die kolorierten Abbildungen zeigen, dass sowohl aus Eisen als auch aus Kupfer oder Messing Draht produziert wurde, erkennbar an den Farben Blaugrau bzw. Rotgelb. Obwohl in Nürnberg seit etwa 1400 Drahtmühlen im Einsatz waren, lief das alte Handwerk weiter nebenher. Die letzte Abbildung mit Eisendraht stammt von 1655 (Landauer I, fol. 131r), jene mit Kupfer- oder Messingdraht noch von 1743 (Mendel II, fol. 256v). Vannocio Biringuccio weist 1540 in seiner Pirotechnia auf die Anwendung des Windenverfahrens beim Eisendraht hin.¹²

Es gibt ferner vier späte Silberdrahtzieherdarstellungen. Davon zeigen zwei den Zöger mit grosser Winde, aber kleiner Abwickelspule (Mendel II, 1658 und Landauer II, 1681); ein Drahtzieher ist nur mit den Einzelteilen Zieheisen und Spule dargestellt (Mendel II, 1749), und der vierte wird ohne direkte Attribute präsentiert (Mendel II, 1722).

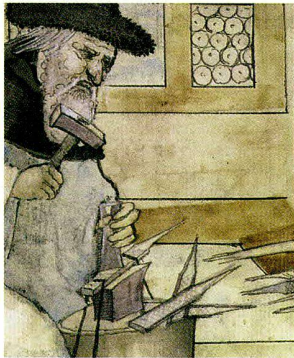


Bild 9: Mendelsches Hausbuch: Feilenhauer, 1534. (Quelle: Stadtbibliothek Nürnberg, Amb. 317,2°)

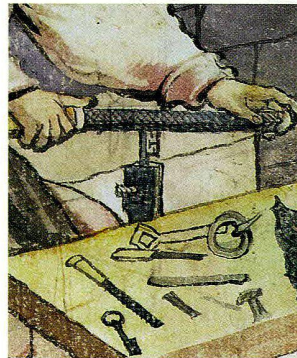


Bild 10: Mendelsches Hausbuch: Schlosser am Schraubstock, 1528. (Quelle: Stadtbibliothek Nürnberg, Amb. 317,2°)

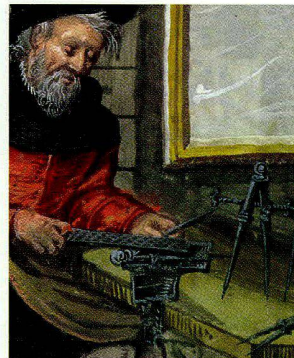


Bild 11: Landauersches Hausbuch: Zirkelschmied am Schraubstock, rechts Zirkel mit zweiteiligem Gewinde, 1595. (Quelle: Stadtbibliothek Nürnberg, Amb. 279,2°)

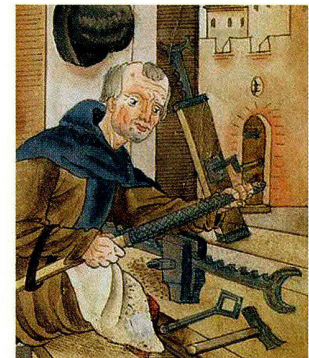


Bild 12: Mendelsches Hausbuch: Windenmacher, 1554. (Quelle: Stadtbibliothek Nürnberg, Amb. 317b,2°)

Zur Produktion groben Drahtes hat sich im Mittelalter das Zangenverfahren durchgesetzt. Es ist in der Literatur auch als Schockenzieherei bekannt. Dabei ist nicht eindeutig klar, ob mit der Schocke eine Schaukel oder ein Winkelhebel gemeint ist. Sicher ist, dass der Drahtzieher den Draht mit einer Zange fasste und jeweils ein kurzes Stück weiterzog. Dabei könnte er auf einem Winkelhebel gesessen, mit seinem Gewicht den längeren Arm heruntergedrückt und mit dem kürzeren Hebel den Draht gezogen haben. Die andere Variante geht von einer Schaukel aus, auf der der Zöger sass und sich mit den Beinen vom Zieheisen wegdrückte, während er den Draht weiterzog. Dass er aber auf seinem Sitz hin- und herpendelte und aus dem Schwung die Kraft schöpfte, wie häufig zu lesen, ist unrealistisch.¹³

Hierzu findet sich die älteste Darstellung wiederum in Mendel I auf fol. 40v. Der Text lautet: «Der Lxxxvij bruder der do starb hieß Dyetrich Schockenzieher.» Das Bild entstand 1425/26, der Bruder segnete etwa 1420 das Zeitliche. Die Darstellung zeigt den Zöger auf der Schaukel sitzend mit der Zange in der Hand, das Zieheisen ist in einem Holzstuken verankert. Jedoch fehlt die Dynamik des Abstemmens beim Ziehen, die Schaukel ist an der Wand befestigt statt an der Decke. Mendel I bietet zwei weitere Darstellungen von 1510 (fol. 128r, mit gleichem Mangel) und 1533 (151r). In den Landauerschen Büchern kommt der Schockenzieher nicht vor.

Draht liess sich auch walzen, wie eine Drahtplättmühle bei Mendel II, fol. 231v im Jahre 1719 demonstriert. Dabei handelt es sich um ein Handkurbelwalzgerät.

Draht war im Mittelalter das Halbzeug, aus dem man vor allem die Endprodukte Nadeln und Kettenhemden (Panzer) herstellte. Nadler treffen wir in den Hausbüchern von 1533 bis 1750 15 Mal an. Panzermacher hingegen waren nur im 15./16. Jahrhundert (1425/26, 1473, 1484 und 1540) vertreten, denn

mit der neuzeitlichen Kriegstechnik wurden ihre Produkte überflüssig. Der erste der vier Panzerer starb um 1390/95. Sein Bild auf Mendel I, fol. 10r zählt zu den ältesten Panzermacherdarstellungen. Es zeigt den Handwerker mit einer Zange hantieren, wobei nicht klar ist, ob er dabei die Ringe zudrückt oder die Niete setzt. Um die Ringe herzustellen, wickelte der Panzermacher den Draht um einen Stab und trennte ihn auf einer Linie mittels Meissel auf. Die offenen Ringe schmiedete er flach, die Enden durchbohrte er zum Vernieten.¹⁴

Panzerhemden sind noch in grösserer Zahl erhalten geblieben, doch selten ist ihre Herkunft bekannt. Das Royal Armouries Museum in Leeds besitzt noch einen Panzer mit Meisterzeichen. Es handelt sich dabei um zwei Messingringe mit der Inschrift «bertolt vor parte to ysrenloen».¹⁵ Auf diesen Bertolt von Iserlohn ist noch zurückzukommen.

Unverzichtbare Werkzeuge einer Schlosserei sind Feilen und der Schraubstock. Den ersten Feilenhauer liefert Mendel I auf fol. 41r. Die Feilen sind bereits mit Kreuzhieb versehen. Der Meissel fehlt hier, offenbar dachte der Illustrator, man könne die Hiebe direkt mit einem spitzen Hammer einschlagen, ebenso noch fol. 136v, 1522. Die Darstellungen von 1534 auf fol. 152v und 1554 auf Mendel II, fol. 5v zeigen den Handwerker korrekt mit Meissel arbeiten. Landauer bietet 1618 einen Feilenhauer beim Anbringen des Heftes und 1694 einen solchen nur mit einer Feile als pars pro toto in der Hand. Die Feile als Teil der Werkstatt kommt wesentlich häufiger vor. Die Suchfunktion zählt 111 Abbildungen.

Der Schraubstock kommt erst um 1500 in Gebrauch.¹⁶ Vorher musste der Handwerker das Werkstück auf einer Auflage festhalten, wie man z. B. bei den Messerern in Mendel I auf fol. 12v und 15r von 1425/26 und noch 1501 auf fol. 116r erkennt. Ein Schraubstock erscheint dann 1528 in einer



Bild 13: Mendelsches Hausbuch:
Wippendrehbank, 1425/26.
(Quelle: Stadtbibliothek
Nürnberg, Amb. 317,2ⁿ)

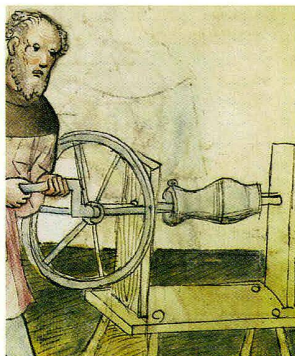


Bild 14: Mendelsches Hausbuch:
Kurbeldrehbank, 1425/26.
(Quelle: Stadtbibliothek
Nürnberg, Amb. 317,2ⁿ)

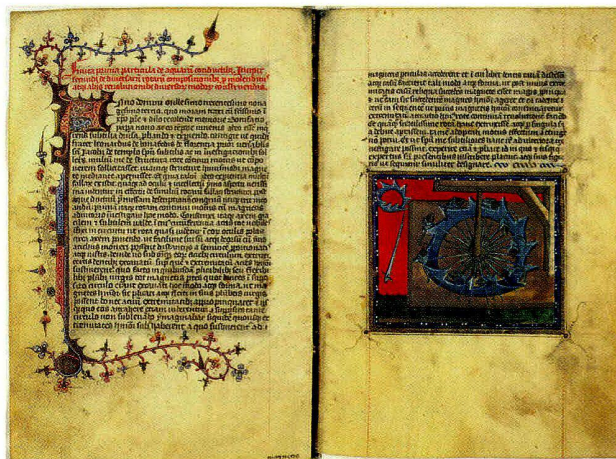


Bild 15: Konrad Gruter: Doppelseite mit Perpetuum mobile.
(Quelle: Lohrmann, Kranz, Alertz, wie Anm. 21)

Schlosserei auf fol. 143f, der Arbeiter führt die Feile mit beiden Händen über einen eingespannten Türschlüssel. Am Schraubstock erkennt man das Ende des Gewindes und einen Vierkantschlüssel zum Festziehen der Schraube. Die Bücher warten bis 1688 mit 50 Darstellungen auf.

Als einziges Blatt illustriert Mendel II 1554 auf fol. 4r einen Windenmacher bei seiner Arbeit. Man erkennt Hubwinden mit Kurbeln. Leider hat der Zeichner dem Betrachter die Mechanik nicht offenbart.

Im Hinblick auf die spätere Bedeutung im Eisengewerbe ist schliesslich noch die Drehmaschine interessant, auch wenn sie in den Hausbüchern nur im Holz- sowie im Buntmetallhandwerk vorkommt. Die älteste Darstellung wurde 1425/26 gemalt und zeigt den XLII. Bruder Lienhard Drechsel an einer Wippendrehbank. Weitere Wippendrehbänke sind von 1587 und 1601 (Mendel II) sowie 1651 und 1664 (Landauer I) überliefert. Ältere Darstellungen gibt es schon im 13. und 14. Jahrhundert in Frankreich.¹⁷ Die Wippendrehbank funktioniert mit einem Seil, das zwischen einem Pedal und einem Federbalken gespannt ist. Das Seil ist einmal um die Drehspindel geschlungen. Tritt man das Pedal runter, dreht sich die Spindel, lässt man das Pedal los, dreht sie sich wieder zurück. Ein Gewinde liess sich darauf schwerlich drehen. Dieses Prinzip dominierte, bis Henry Maudslay und andere um 1800 Drehmaschinen mit Support und Leitspindel entwickelten.¹⁸ Andererseits präsentiert Mendel I fol. 29v von 1425/36 auch eine Drehbank mit Kurbelbetrieb und, wenn die Zeichnung stimmt, bereits mit einem Schwungrad. Sie hatte den Vorteil, stets in eine Richtung zu drehen. Allerdings erforderte die Kurbeldrehbank zwei Arbeiter.

Diese Nachteile waren den Menschen durchaus bewusst, und so gab es etliche Innovationsvorstösse. Aus der Zeit um 1480 stammt eine unter dem Namen «Mittelalterliches Haus-

buch» bekannte deutsche Handschrift in der Waldburg-Wolfeggischen Sammlung mit der leider unkommentierten Darstellung einer Kurbeldrehbank mit Support. Hierbei liess sich der Drehstuhl auf einem Schlitten nachstellen. Die Arbeitsspindel sollte mittels Wendelführung die Längsführung übernehmen. Die Apparatur diente dem Gewindeschneiden.¹⁹ 1560 erfand in Nürnberg der Kupferdreher Hans Spaichel eine verbesserte Drehbank, die der Rat aber wieder einziehen liess. Ebenfalls aus Nürnberg ist überliefert, dass der Kupferdreher Wolf Diebler 1590 eine besondere Drehbank «mit Schraube oder Laufdocken» besass, die also mit einer Leitspindel ausgestattet war. Diebler durfte seine Maschine zwar weiterbenutzen, aber andere Personen ausserhalb seines Gewerbes darin nicht unterweisen.²⁰

Der Mechaniktraktat des Konrad Gruter von Werden

Der Ingenieur Konrad Gruter ist bislang wenig bekannt – zu Unrecht, stammt doch aus seiner Feder der älteste Mechaniktraktat Westeuropas. Die reich bebilderte Handschrift aus dem Jahre 1424 ist sein einziges Werk, das wir heute noch bzw. wieder kennen. Weiteres Schrifttum von Konrad ist nicht überliefert oder ihm bisher nicht zugeschrieben worden – keine Notizbücher, keine Fragmente. Erst 2006 haben Prof. Dietrich Lohrmann, Dr. Ulrich Alertz und Dr. Horst Kranz den Traktat am Historischen Institut der RWTH Aachen ediert, der Jahrhunderte unbeachtet in der Vatikanischen Bibliothek gelegen hatte.²¹

Die Urhebererschaft des 118-seitigen, lateinisch verfassten Werkes ergibt sich aus einem Akrostichon, das in deutscher Übersetzung lautet: «Konrad Gruter von Werden schrieb dieses Buch im Namen des Herrn 1424 in Venedig für den erlauchtesten König von Dänemark, Norwegen und Schwe-

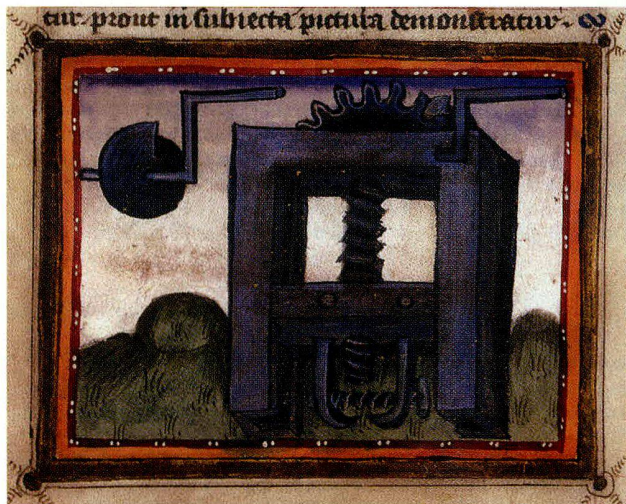


Bild 16: Konrad Gruter: Kurbelwinde. (Quelle: Lohrmann, Kranz, Alertz, wie Anm. 21)



Bild 17: Konrad Gruter: Brechschlüssel. (Quelle: Lohrmann, Kranz, Alertz, wie Anm. 21)

den, Herzog von Pommern.» Die vorliegende Luxushandschrift liess der Autor bei einem professionellen Schreiber und Illustrator ausfertigen – im Gegensatz zu Leonardo da Vinci hat Konrad keine eigenhändigen Niederschriften und Skizzen hinterlassen.

Über den Autor ist inzwischen einiges bekannt. Die Familie Gruter stammte aus der Abteistadt Werden an der Ruhr, heute zu Essen gehörig. Sie pflegte Beziehungen, die bis zum Papst reichten. Seine ersten Kenntnisse in technischen Dingen dürfte Konrad Gruter schon in seiner Heimat erworben haben. So erinnerte er sich beim Anblick der hängenden Mühlen in Florenz, Lucca und Narni: «Solche Mühlen sah ich zuerst in meiner Heimat in Werden an der Ruhr.» Mit «hängend» ist eine Konstruktion gemeint, die es dem Müller erlaubte, das Wasserrad dem schwankenden Pegel jederzeit anzupassen, wenn die Mühle direkt am Fluss und nicht an einer Derivation stand. Auch an der Ruhr griff man auf diese Technik zurück. Besagte Mühle dort befand sich 1391 im Besitz des Grafen von der Mark und lag «in der Ruhr vor des Abtes Stadt zu Werden».²² Auf dem Ti-



Bild 18: Konrad Gruter: Eisenkreishobel. (Quelle: Lohrmann, Kranz, Alertz, wie Anm. 21)

ber in Rom und auf dem Po in Ferrara sah Konrad Mühlen, die auf dem Fluss schwammen und von Eisenketten, Pfählen oder Ankern festgehalten wurden. Solche Schiffmühlen habe er zuerst in Deutschland auf dem Rhein gesehen, berichtet der Autor. Gemeint waren die Kölner Schiffmühlen, die erstmals 1411 bildlich dargestellt worden waren.²³

Unter dem lateinisierten Namen «Conradus Fermentator de Werdena» wechselte er 1391 an die gerade gegründete Kölner Universität. Etwa zweieinhalb Jahre später ging er nach Rom an den Papsthof. Dort befasste er sich vor allem mit wassertechnischen Experimenten. Wie so viele Tüftler in der Menschheitsgeschichte widerstand auch er nicht der Versuchung, das Energieproblem lösen zu wollen. Auf Anregung eines Johanniterpriors, Leonardo Buonafede, versuchte er, ein «ewiges Rad» zu konstruieren. So viele Varianten er aber auch erprobte, ob mit Magneten, Schiebegewichten oder beweglichen Kugeln, sie funktionierten alle nicht. Der Autor gab seine Versuche schliesslich auf und «wollte darauf nicht noch mehr Zeit unnütz verschwenden».²⁴ Sein frühes Eingeständnis ist bemerkenswert.

1400 verliess er Rom und verdingte sich bei diversen Fürsten und Bischöfen in Modena, Ferrara, Padua, Camerino in den Marken und Lucca, Florenz und Ravenna. Er fand letztendlich sogar Eingang in das streng kontrollierte Schiffbauarsenal der Republik Venedig.

In der Lagunenstadt schrieb Gruter sein Werk schliesslich auch nieder, und zwar im Auftrage des dänischen Königs Erik VII. Leider hatte Konrad Pech: Im Heiligen Land wurde der als Pilger verkleidete Herrscher erkannt und festgesetzt und erst gegen Lösegeld freigelassen. Der Handel kam infolgedessen nicht mehr zustande. Über Umwege gelangte die kostbare Widmungshandschrift 1623 in die päpstliche Bibliothek. Die Spur des Autors jedoch verliert sich nach Vollendung des Traktates 1424 im Dunkel der Geschichte. Er mag damals etwa 50 Jahre alt gewesen sein.

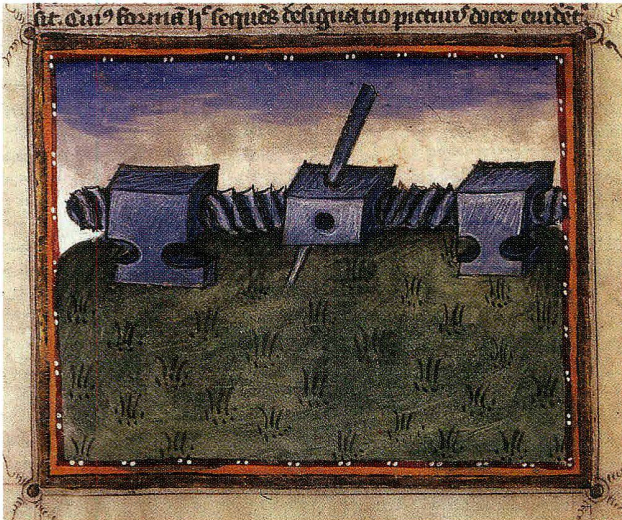


Bild 19: Konrad Gruter: Schraubengetriebe. (Quelle: Lohrmann, Kranz, Alertz, wie Anm. 21)

Der Traktat besteht aus drei Teilen. Teil eins behandelt den Wasserbau und beinhaltet Pumpen, Schöpfräder, Druckgefäße, Wasserschrauben und Brunnenbau. Es folgt Teil zwei mit den seinerzeit bekannten Antriebsformen von Maschinen. Darin behandelt Konrad die schon angedeuteten kontinuierlich bewegten Räder, aber auch normale Wasserradantriebe einschliesslich Unterwasserturbinen, Windkraftanlagen sowie Antrieben per Muskelkraft. Im dritten Teil widmet er sich der Kriegstechnik. Dazu gehört zunächst Pioniergerät wie transportable Brücken, Bootsbau und Steigeisen, Türschlossaufbrecher, Eisenschneiden und Zugvorrichtungen zum Herausreissen von Türangeln oder zum Heben von Lasten. Auch Geschütze und Wurfmaschinen fehlen nicht. Am Ende kommt der Ingenieur wieder auf das Wasser zurück und beschreibt Schwimm-, Tauch- und Atemhilfen sowie Sperren zum Schutz von Brücken.

Die Verwendung von Eisen und Stahl erwähnt Konrad explizit an mehreren Stellen. Gehärteter Stahl taucht namentlich auf bei einem kombinierten Kern- und Spiralbohrer mit blechernem Schneidegewinde (Kap. 21), bei zwei Brechschlüsseln (Kap. 54) und beim Eisenkreishobel (Kap. 57). Dabei bereitet die Übersetzung der Verben *temperare* und *indurare* Schwierigkeiten, weil der Ingenieur die dahinterstehenden Prozesse in der Handschrift nicht näher erläutert. Zeitgenössische Textstellen zum Vergleich sind bisher unbekannt.²⁵

Eine besondere Rarität der Handschrift sind die 72 goldgerahmten Abbildungen. Diese aufwendig gemalten Miniaturen sind nicht nur von hohem ästhetischem Reiz, sondern verraten viele technische Details. Im Vorgriff auf moderne technische Zeichnungen platziert Konrad verdeckte Einzel-

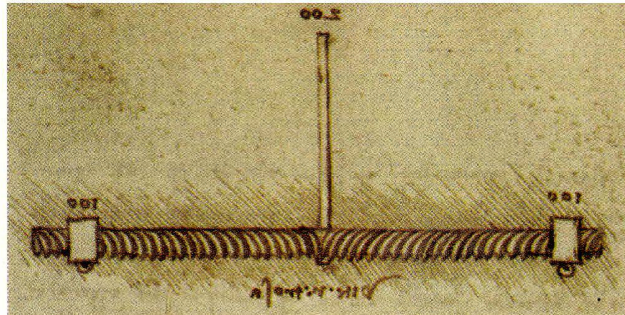


Bild 20: Leonardo da Vinci: Zweiteilige Schraube. (Quelle: Reti, wie Anm. 26)

elemente gegebenenfalls noch einmal sichtbar neben der jeweiligen Apparatur.

Kapitel 58 liefert eine Vorrichtung zum Ausreissen von Türangeln. Mittels einer Kurbel lässt sich eine Schnecke aus Blech (mit nur einem Gewindegang, auch als Einzeldarstellung oben links im Bild) drehen, die eine Spindel mit Schraubengewinde betätigt. Dieses setzt einen Schieber in Bewegung, der in den seitlichen Innennuten eines eisernen U-förmigen Rahmens Führung bekommt. Am Schieber sind zwei Greifarme befestigt, die sich mit einer Querschraube festziehen lassen und dabei den herauszuziehenden Gegenstand umklammern.

Kapitel 54 widmet sich den beiden Brechschlüsseln zum gewaltsamen Öffnen von Kerkerschlössern. Das rechte Modell besass ein konisches Schneidegewinde und liess sich wie eine Schraube ins Schloss drehen, dessen Öffnung sich dabei weitete.

Eines der interessantesten Geräte ist der Eisenkreishobel im 57. Kapitel. Auf dem Bild sieht er aus wie ein etwas klobig geratener Zirkel. Die Enden der anderthalb Handspannen langen, zwei Zoll breiten und einen Zoll starken Schenkel liessen sich mit Schraube und Flügelmutter zusammenziehen. Die Innenflächen der Schenkel sind als gehärtete, feilenartige Reibfläche ausgearbeitet, die Konrad als Schneiden bezeichnet. Mit diesem Gerät liess sich ein Eisenstab durchtrennen. Dazu legte man das Gerät mit den Reibflächen an dem Stab an und zog die Mutter an. Danach drehte man das handliche Werkzeug um die eingespannte Stange herum und hobelte deren Oberfläche ab. Den Vorgang wiederholte man, bis die Stange durchtrennt war. Der Apparat ergab Sinn bei fest installierten Gitterstäben und bei der Gefahr, bei der Arbeit entdeckt zu werden. Der Vorgang musste heimlich geschehen, deshalb das zierliche Format. In den kriegstechnischen Handschriften des 15. Jahrhunderts ist bisher kein ähnliches Werkzeug bekannt.

Kapitel 55 beschreibt ein Schraubengetriebe, mit dem sich Gitterstäbe auseinanderbiegen oder zusammenziehen liessen. Wie bei einem Maschinenschraubstock übertrug eine Spindel mit gegenläufigen Gewinden die Kraft.

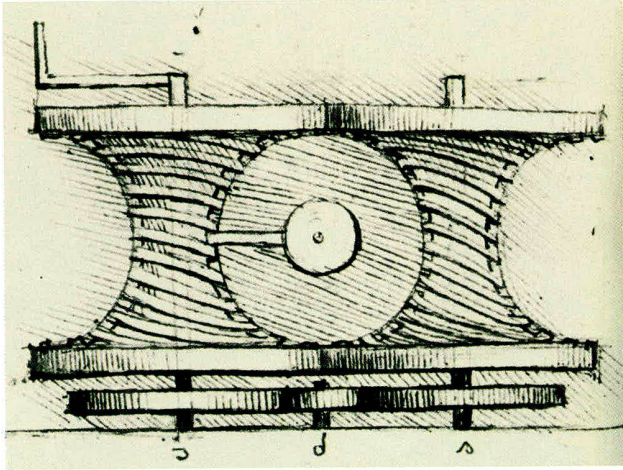


Bild 21: Leonardo da Vinci: Endlos-Schraubengetriebe.
(Quelle: Reti, wie Anm. 26)

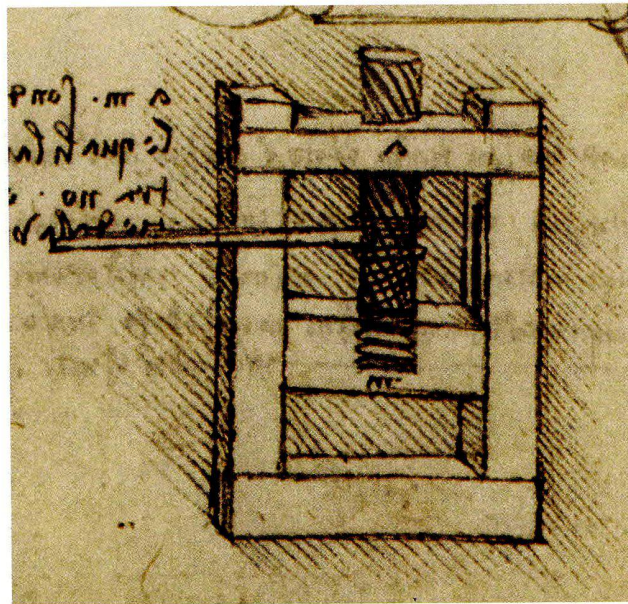


Bild 22: Leonardo da Vinci: Differentialschraube.
(Quelle: Reti, wie Anm. 26)

Leonardo da Vinci

Über das Leben und Wirken des Leonardo da Vinci (1452–1519) wurde bereits vieles publiziert. Ganz der Universal Mensch im Geiste der Renaissance, war er Maler und Bildhauer, Naturwissenschaftler und Ingenieur zugleich. Seine Konstruktionen reichen vom Hubschrauber und dem Perpetuum mobile über mechanische Sägen und schwenkbare Brücken bis hin zum selbstregulierenden Bratenwender. Mit dem publizistischen Erbe verhält es sich genau umgekehrt zu Konrad Gruter:

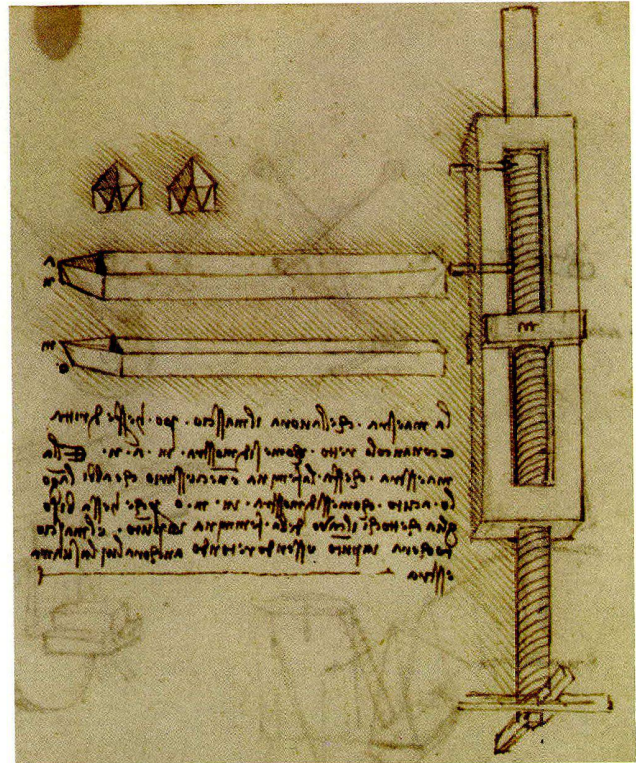


Bild 23: Leonardo da Vinci: Schraubengewindeschneider.
(Quelle: Reti, wie Anm. 26)

Überliefert sind unzählige Notizen und Zeichnungen aus Leonardos eigener Hand, jedoch: Er selbst hat von alledem nichts ins Reine geschrieben, geschweige denn veröffentlicht.

An der RWTH befassen sich zurzeit die Editoren des Gruter-Traktats – Prof. Lohrmann, Dr. Kranz und Dr. Alertz – mit einer Neubearbeitung der Madrider Codices. Diese umfangreichen Manuskripte aus den Händen Leonardos wurden erst 1965 wiederentdeckt und bereits 1974 erstmals ediert, aber keineswegs im umfassenden Sinne ausgewertet.²⁶ Neue Erkenntnisse, insbesondere die Auswertung der Gruterschrift, geben nun in Aachen Anlass, sich wiederum mit den Madrider Handschriften zu befassen. Betrachten wir zum Beispiel die Ausführungen über die Perpetua mobilia, so ergeben sich auffallende Parallelen. Ob es sich um direkten Einfluss handelt, sei dahingestellt. Konrad selbst äussert mehrfach, dass auch andere damit experimentierten.²⁷ Wie schon Konrad, so gelangt auch Leonardo zur Erkenntnis der Unmöglichkeit selbsttreibender Geräte.²⁸ Im Allgemeinen betont der Technikhistoriker Friedrich Klemm sowohl Leonardos eigene Erfindungsgabe als auch dessen Rückgriff auf andere Denker und Ingenieure, darunter Leone Battista Alberti (1404?–1472), Roberto Valturio (1405–1475) und Francesco di Giorgio Martini (1439–1501).²⁹

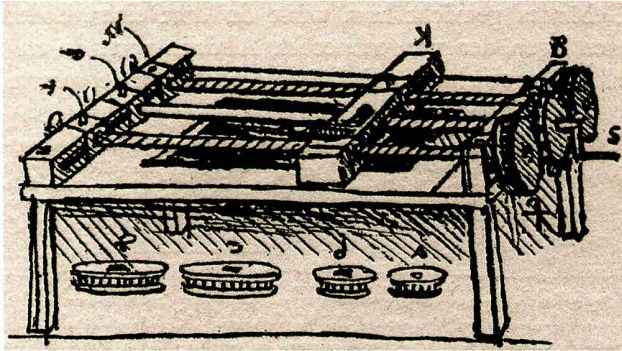


Bild 24: Leonardo da Vinci: Kurbeldrehbank zum Schneiden von Schraubengewinden. (Quelle: Feldhaus, wie Anm. 33)

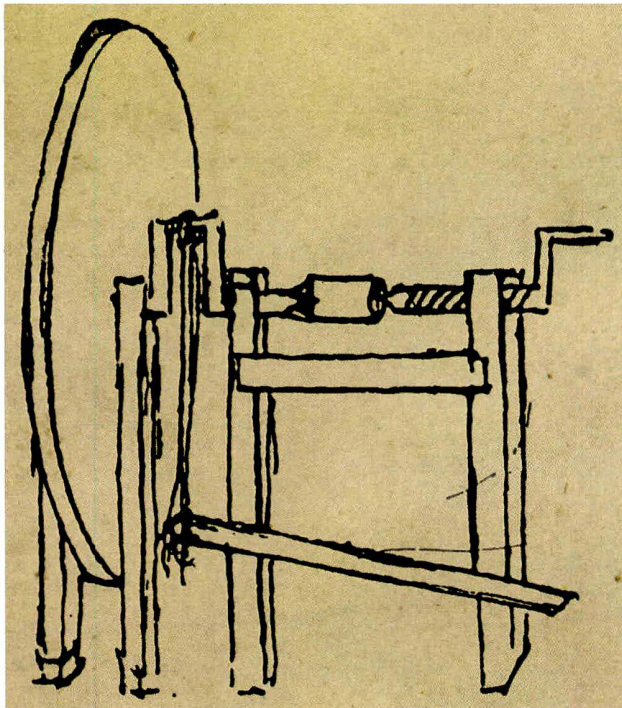


Bild 25: Leonardo da Vinci: Pedaldrehbank mit Schwungrad. (Quelle: Feldhaus, wie Anm. 33)

Das überkommene Werk Leonardos ist so gewaltig, dass auch bei den nun folgenden Ausführungen speziell über Eisenbearbeitung und Maschinenbau der Ausschnitt klein bleiben muss. Beginnen wir mit den Gewindekonstruktionen. Der Codex Madrid I liefert auf fol. 58r ein Spannschloss mit zweiteiliger oder – in Leonardos eigener Terminologie – rückläufiger Schraube mit Rechts- und Linksgewinde, ähnlich der oben besprochenen Anordnung von Konrad Gruter. Die rückläufige Schraube kommt auch bei einer Hebevorrichtung (fol. 24v), bei einem Zirkel

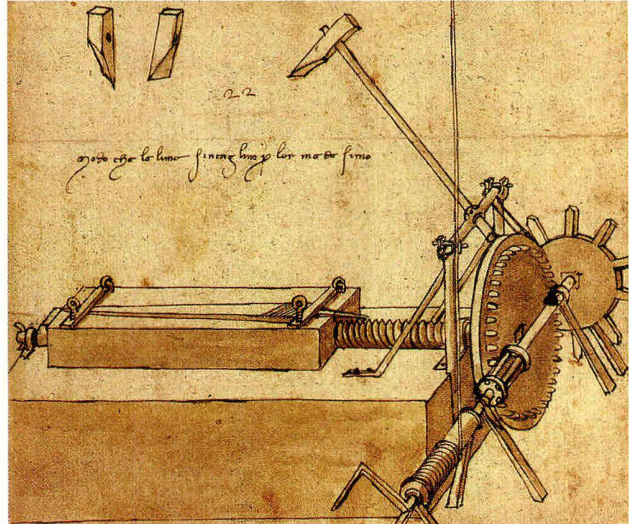


Bild 26: Leonardo da Vinci: Feilenhauautomat. (Quelle: Taddei, Zanon, Laurenza, wie Anm. 35)

(fol. 63r) und bei einer Zweifachschrauben-Reihe (fol. 57v) zum Einsatz. Durch Hintereinanderschaltung rückläufiger Schrauben mit axial beweglichen, radial fixierten Mutternelementen demonstriert Leonardo die Aufaddierung der Bewegung.³⁰

Bemerkenswert ist die Endlosschraubenkonstruktion auf fol. 18v. Sie besteht aus zwei konkaven Schrauben, die durch drei Zahnräder derart geschaltet sind, dass sich ihre Gewinde gegenläufig bewegen und zusammen eine Kreisbewegung erzeugen. Dadurch lässt sich Kraft auf eine senkrecht dazu ansetzende Welle übertragen. Die Differentialschraube auf fol. 33v gibt insofern Rätsel auf, als Leonardo zwei erheblich voneinander abweichende Gewindesteigungen wählt, wodurch der Differentialeffekt verpufft. Mit einem Differentialgewinde lassen sich kleine Schübe erreichen, für die man ein sehr feines Gewinde bräuchte. Weil dieses grosse Präzision erfordert, kann man zwei Gewinde unterschiedlicher, aber ähnlich grosser Steigung hintereinander auf einer Schraube schneiden. Die Steigungsdifferenz wirkt entsprechend einem Feingewinde. Über die Anwendung der hier dargestellten Schraube gibt Leonardo weiter keine Auskunft.³¹

Leonardo hat sich nicht nur über die Theorie von Schrauben und Gewinden Gedanken gemacht,³² sondern auch über ihre Herstellung. Fol. 91v im Codex Madrid I zeigt ein Gewinde-schneidwerkzeug, das aus einem länglichen Stahlrahmen sowie einem mittigen Steg mit Loch und Mutterngewinde besteht. Wird ein Stab mit vorgeschrittenem Gewindeanfang hindurchgeschraubt, können zwei hintereinander geschaltete Drehstähle das Gewinde gleichmässig weiterschneiden. Leonardo betont, dass der Drehstahl einen Freiwinkel haben soll, um Reibung und Verschleiss geringzuhalten. Das Pariser Manuskript G präsentiert auf fol. 70v eine Gewindedrehbank mit

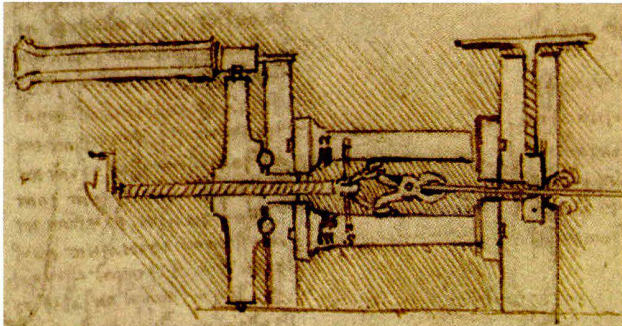


Bild 27: Leonardo da Vinci: Drahtziehvorrichtung für rechteckige Profile. (Quelle: Reti, wie Anm. 26)

Kurbeltrieb und Leitspindeln. Auswechselbare Zahnräder erlauben, verschiedene Steigungen zu schneiden.³³ Darstellungen von Drehbänken wurden bereits aus den Nürnberger Hausbüchern erläutert. Das Problem der alternierenden Bewegung der Wippendrehbank zugunsten einer permanenten Drehung löst Leonardo um 1480 mit Pleuelstange, Kurbelwelle und Schwungrad (Codex Atlanticus, fol. 170va).³⁴

Leonardo erfand auch einen Feilenhauautomaten (Codex Atlanticus, fol. 24r).³⁵ Ein hochgezogenes Gewicht lieferte bei Absenkung die Antriebsenergie. Über die Mechanik wurde ein Hammermeissel betätigt und gleichzeitig der Vorschub des Werkstückes vollzogen. Die Meisselschneide war schräg angeordnet. Nach einem Durchlauf konnte der Arbeiter einen entgegengesetzt schrägen Meissel einbauen und im zweiten Arbeitsgang den Kreuzhieb aufbringen. Das im Nürnberger Hausbuch dargestellte direkte Einschlagen der Hiebe (s.o.) wurde dagegen als mangelhaft erkannt, denn manuell ist es natürlich unmöglich, die Hiebe auf diese Weise sauber nebeneinander einzuschlagen.

Mit Drahtziehvorrichtungen hat Leonardo sich mehrfach befasst. Einige sind im Pariser Manuskript G enthalten, die Theodor Beck ausführlich beschreibt.³⁶ Dabei geht es, wohl erstmals in der Geschichte, um das Ziehen von Rechteckprofilen. Eine weitere Darstellung im Codex Madrid I (fol. 84r) zeigt einen Zangenzug, der mit einer Gewindestange und Kurbel betätigt wird. Leonardo nutzt die Möglichkeit des rechteckigen Profils, ein flexibles Zieheisen zu konstruieren, das man nachstellen kann. Eigentümlicherweise ist der Konus umgekehrt angeordnet. Während man den Draht normalerweise in den Konus hineinzieht – auch in den anderen Darstellungen Leonardos ist dies so –, zeigen hier die scharfen Kanten nach ausen. Das Zieheisen wirkt dadurch spanabhebend.

Zwei Iserlohner Urkunden und das märkische Drahtgewerbe

Die Auslastung der Wasserkraft veranlasste 1394 den Grafen Dietrich von der Mark, die Besitzverhältnisse der Mühlen am

Baarbach vor den Toren der Stadt Iserlohn neu zu ordnen. Iserlohn, gelegen im Sauerland südöstlich von Dortmund, besass seit dem 13. Jahrhundert Stadtrechte. Das Handwerk war in sieben Gilden organisiert, darunter die Panzermachergilde sowie die Schmiede- und die Drahtziehergilde.³⁷

Der Mühlentausch ist in zwei Urkunden überliefert. Am 8. März übergab Graf Dietrich dem Bürger Bertold vor der Porten seine Kornmühle mit allem Zubehör und dem Wassergang unterhalb der Stadt. Die Nutzungsart stand ihm frei. Nur Korn durfte er dort nicht mahlen, wozu er auch keine Ambitionen hatte, denn Bertold war Drahtzieher. Er war der Vater oder Grossvater des gleichnamigen Meisters jenes oben erwähnten Panzerhemdes in Leeds. Der Landesherr durfte im Gegenzug das Stauwehr vor der Westerpforte beseitigen, das «van alders op sine rollen plagh toe gande». Er wollte damit die Bedingungen für die Mühle verbessern, die er oberhalb der «Rolle» gebaut hat.³⁸ Am 24. März tauschte Graf Dietrich eine weitere Mühle mit dem Wasserzufluss vor der Kirchpforte gegen die vor der Westerpforte gelegene «Rolle» des Johann Schulte in Iserlohn. Die Gefälle mit den Wassergängen, die «van alders toe der molen und tor rollen gehart hevet», blieben unverändert.³⁹

Diese beiden Urkunden geben Aufschlüsse über die Anfänge der wassergetriebenen Drahtproduktion. Zunächst der Terminus «Rolle»: Da dieser Begriff im märkischen Sauerland stets nur als Bezeichnung für ein Drahtwerk Verwendung fand und in diesem Sinne dort bis heute im Sprachgebrauch verankert ist, besteht kein Zweifel daran, dass dies auch 1394 der Fall war. Als Deutung des Begriffs kommt plausibel nur in Betracht, dass diese Betriebe im Windenverfahren arbeiteten. «Rolle» (=Winde) wäre dann als pars pro toto für den ganzen Betrieb zu verstehen.⁴⁰ Damit liess sich aber nur der feine Draht ziehen, was einfach zu erklären ist: Für den groben Draht waren die Rohlinge zu kurz. Bei jedem Ziehdurchgang wird der Draht aber länger und dünner, sodass er schliesslich irgendwann auf die Winde passt. Erst als um 1800 aus den Walzwerken lange Stangen verfügbar waren, begann man, auf Windersbänken nach dem Windenprinzip auch den groben Draht zu ziehen.⁴¹ Es sei noch hinzugefügt, dass Graf Dietrich am 15. Juli 1395 in Altena südlich von Iserlohn den Bau einer «Harnischrolle» konzessionierte, die dem Wort nach eben den für Ringpanzer benötigten Feindraht produzieren sollte.⁴² Ein schwedischer Bericht der märkischen Drahtziehereien von 1726 beschreibt die Feindrahtrollen derart, dass die Wasserkraft mittels Kammradübersetzung in ein Obergeschoss geführt wird. Die Welle durchstösst von unten den Tisch und dreht die darauf installierte Winde. Dazu passt eine Illustration aus dem Jahre 1755, ebenfalls aus Schweden.⁴³ Abgesehen von der entfallenden Kurbel entspricht der Aufbau auf dem Tisch prinzipiell den Nürnberger Hausbuch-Darstellungen.

Erst 1408 bis 1415 gelang es den Drahtziehern in Nürnberg, auf der sogenannten Sandmühle, die innerhalb der

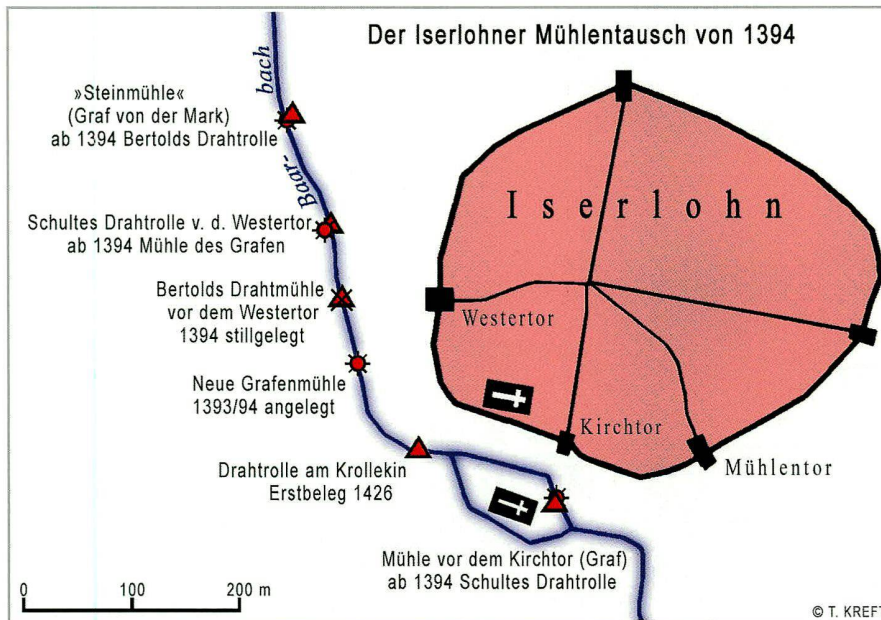


Bild 28: Iserlohn. (Karte: T. Kreft)

Stadtmauern an der Pegnitz lag, die Technik des wassergetriebenen Drahtzuges nach dem Prinzip des Zangenzuges voranzubringen.⁴⁴ Wie das funktionierte, hält Biringuccio 1540 bildlich fest.⁴⁵ Mit dem Zangenverfahren war das Problem gelöst. Dabei übertrug eine Kurbelwelle die Drehbewegung des Wasserrades in lineare Bewegung. Der Zieher musste die Schleppzange führen, die mit einem Seil an der Kurbel befestigt war. Die Zange lag in einem Ring am Seilende, der die Schenkel zusammenzog, wenn sich das Seil spannte. Sie erfasste den Draht und zog ihn ein Stück weiter. Dieses Prinzip lag auch den älteren Greifzangen zum Heben von Steinen im Bauwesen zugrunde.⁴⁶ Eine Weiterentwicklung war die Bankzögersbank. Dazu war das Zieheisen auf einem Tisch (=Bank) aufgebaut, der in Richtung des Zieheisens eine schiefe Ebene bildete, auf der die Zange von selbst nach unten rutschte und den Draht erfasste. Mit einem Winkelhebel betätigte man die Vorrichtung, wobei der kurze, aufrechte Hebel das Seil mit der Zange führte und der lange, der Bank abgewandte Hebel durch Niederdrücken dem Antrieb diente. Der Antrieb geschah durch ein Wasserrad mit Nockenwelle, die den Hebel betätigte. Eine Feder und das Eigengewicht der Zange stellten die Ausgangsposition wieder her, sobald der Nocken den Hebel freigab.⁴⁷

Zum Wasserbau entnehmen wir den Iserlohner Urkunden, dass ein Wassergang zum Wasserrad führte, ein Abzweig vom Baarbach, der zu diesem Zweck durch ein Wehr gestaut wurde. Das zog einen gewissen räumlichen Abstand der Mühlen nach sich, denn ein neuer Abzweig lohnte sich erst unterhalb der Stelle, an der der Untergraben des Nachbarn wieder in den Bach mündete. Die alte Drahtrolle des Bertold musste

also weichen, damit der Graf den Rücklauf seiner Kornmühle weiter abwärts verlegen und damit ein grösseres Gefälle erzielen konnte.

Die zeitlichen Angaben «von Alters her» der beiden Urkunden haben wegen ihrer Unklarheit reichlich für Spekulationen gesorgt. Die ältesten Belege für Drahtmühlen in Deutschland stammen aus Augsburg 1351 und Frankfurt a. M. 1355, es folgen die genannten Belege aus Iserlohn 1394 und Altena 1395, schliesslich Nürnberg um 1400.⁴⁸ Der Augsburger «Chunr. Tratmuller de Tratul»⁴⁹ scheint eine blosser Erwähnung zu sein, bezeugt damit aber ein 1351 bereits bestehendes Werk unbestimmten Alters. Die «Drahtmolen» zu Frankfurt soll auf Initiative des Stadtrates neu angelegt worden sein.⁵⁰ Wenn 1394 in Iserlohn seit alters her Drahtmühlen gestanden haben, so weist dies auf einen Zeitpunkt des Beginns hin, der vor der Erinnerung der damals lebenden Bevölkerung lag. Freilich lag ein möglichst weit zurückliegendes Datum zur Untermuerung alter Wasserrechte im Interesse der betroffenen Mühleneigner. Man wird als Beginn der Iserlohner Drahtrollen die erste Hälfte des 14. Jahrhunderts ansetzen dürfen und dabei auch zeitgleich zu anderen Standorten wie Augsburg liegen.

Anders als in Augsburg oder Frankfurt erlebte das märkische Sauerland einen beispiellosen Ausbau der Drahtindustrie. In Iserlohn sind weitere Rollen 1426 und 1504 bezeugt. Dies sind nur Zufallsüberlieferungen, die tatsächliche Auslastung war wesentlich grösser. Ähnlich sieht es in der Nachbarstadt Altena aus. Dort ist als Erstes 1395 die Konzession zum Bau der Harnischrolle am Lennezufluss Nette bezeugt, wo 1453 eine weitere Rolle folgt. Wie gross die

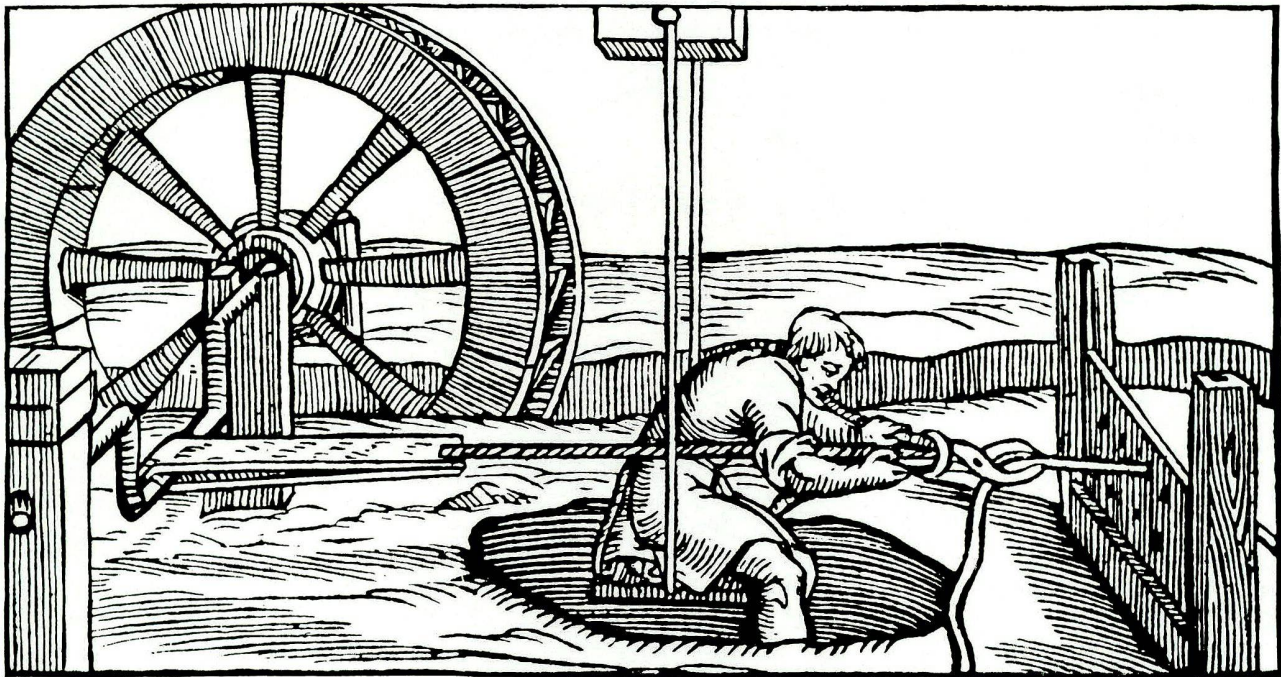


Bild 29: Arbeitsweise einer Drahtmühle, 1540. (Quelle: Biringuccio, wie Anm. 12)

wirkliche Zahl bereits war, bleibt ungeklärt. Zu den Urkunden von 1394 und 1395 ist wichtig zu wissen, dass sie als Zweitschriften im Registerbuch der Grafen von der Mark überliefert sind, die 1391 beginnen. Das hat zur Hypothese geführt, dass davor schon etliche Drahtwerke konzessioniert worden sein könnten.⁵¹ Die weitere Entwicklung brachte, im Gegensatz zu Iserlohn, in Altena über Jahrhunderte eine völlige Monostruktur im Drahtsektor. Die Stadt geht auf die gleichnamige Landesburg sowie auf einen Eisenhüttenbezirk mit rund 600 Rennfeuerstellen im Umkreis einiger Kilometer vom 11. bis 13. Jahrhundert zurück, wobei nicht geklärt ist, ob zuerst die Burg oder die Eisenproduktion da war. Ein wassergetriebenes Hüttenwerk ist ausserdem 1395 an der Nette belegt.⁵²

Der preussische Fabrikenkommissar Eversmann zählte 1804 an den Iserlohner Bächen Baarbach, Grüne und Caller Bach 30 Drahtrollen und in Altena an Nette, Rahmede, Brachtenbecke, Linscheider Bach und Lenne 105 Drahtrollen. Insgesamt waren es zusammen mit denen bei Hemer, Hohenlimburg und Lüdenscheid 179 Werke.⁵³ Einige davon sind 1804 bereits verfallen oder in anderer Nutzung vermerkt – die wassergetriebene Drahtproduktion hatte den Zenit bereits überschritten. Im 18. Jahrhundert war die Arbeitsteilung in der Grafschaft Mark so festgeschrieben, dass Lüdenscheid den groben, Altena den mittleren und Iserlohn den feinen Draht erzeugte.⁵⁴ Im Gebiet südlich der Lenne bis Plettenberg, Werdohl, Meinerzhagen, Kierspe und Schalksmühle produ-

zierten Hammerwerke das Vormaterial für den Draht, das sogenannte Osemundeisen.⁵⁵ Um 1800 wurden in Deutschland ca. 1100 t Draht produziert; 800–900 t davon lieferten die Drahtziehereien in der Grafschaft Mark.⁵⁶

In Nürnberg war die Zahl der Drahtmühlen wesentlich kleiner, wobei aber die wassertechnische Struktur eine andere ist. Dort baute man ohne Derivationen direkt an der Pegnitz, deren Wassermassen durch Barrieren zum Ufer hin gedrängt wurden. Dort arbeiteten die Mühlen dann mit etlichen Wasserrädern zugleich. Die Sandmühle etwa, wo bis 1415 die zweite Generation der Drahtmühle mit Kurbelwelle entwickelt wurde, besass 1339 nicht weniger als 18 Wasserräder zum Mahlen und zur Bearbeitung von Tuch und Leder.⁵⁷ Bis 1440 wuchs die Zahl der Drahtmühlen in und um Nürnberg auf etwa 20.⁵⁸ Das Drahthandwerk insgesamt ist früh dort nachweisbar, angeführt allerdings von den nachgeordneten Gewerbebezügen: den Panzermachern seit 1295, den Nadlern seit etwa 1295–1300 und den Drahtziehern seit 1392.⁵⁹ Die Nürnberger Handwerkerzählung aus dem Jahre 1363 nennt unter insgesamt 1217 Meistern zusammen 22 Nadler und Drahtschmiede.⁶⁰ Diese Zusammennennung lässt darauf schliessen, dass die Nadler die Hauptabnehmer der Drahtschmiede waren. Hingegen gab es nur 4 Panzermachmeister.⁶¹ Ein interessanter Hinweis führt wiederum nach Iserlohn: Laut den Nürnberger Stadtrechnungen des Jahres 1388 zahlte die Stadt ihrem Bürger «Ber[thold], dem Nützel, für 41 pantzer, die er in der stat zu Eysernlon kauft hat», 188



Bild 30: Drahtmühlen um Iserlohn, Altena, Lüdenscheid und (Hohen-)Limburg auf einer Karte des preussischen Fabrikenkommissars Friedrich August Alexander Eversmann, 1804. [Quelle: Eversmann: Übersicht der Eisen- und Stahl-Erzeugung auf Wasserwerken in den Ländern zwischen Lohn und Lippe. Hauptteil und Beylagen. Dortmund 1804]

Gulden.⁶² Offenbar hielt die Nürnberger Draht- und Panzerproduktion mit der Nachfrage nicht Schritt. Ob Iserlohn als Panzermacherstadt damals noch vor Nürnberg führend war, sei dahingestellt. Gewiss zeugt der grosse Panzerwarenxport für ein hohes Niveau an Qualität und Quantität Iserlohner Kettenhemden.

Mensch und Technik

Rationalisierung bedeutet Qualitätsverbesserung am Produkt und Erleichterung am Arbeitsplatz. Beispiele dazu liefern etwa die Überlegungen von Leonardo da Vinci zur Feilenhaumaschine und zur Gewinderehbahn ebenso wie die Erfindung der Drahtmühle oder des Schraubstocks.

Wir neigen deshalb heute dazu, das Verkennen und Unterdrücken von Innovationen als kurzfristig zu brandmarken. Dabei stellt sich die Frage, ob die Verhinderungsprotagonisten nicht so manches Mal klug gehandelt haben. Der

österreichische Politiker und Volksökonom Otto Bauer formulierte 1931 den Begriff der Fehlrationalisierung, den er so definierte: «Dem Unternehmer ist es aber immer nur um die Senkung seiner [eigenen] Produktionskosten... zu tun, nicht um die Senkung der gesellschaftlichen Produktionskosten. Er kann seine Produktionskosten durch Massnahmen senken, die die gesellschaftlichen Produktionskosten erhöhen.»⁶³ Die finanzielle Belastung der Gesellschaft durch Arbeitslosenunterstützung, Umschulung und Umzugskosten sei dann höher als der zusätzliche Gewinn des Unternehmers. Wenn gleich Bauer dies unter dem Eindruck der damaligen Weltwirtschaftskrise geschrieben hat, ist doch deutlich, dass «Fehlrationalisierung» auch zu anderen Zeiten stattfand und teilweise auch erkannt und unterbunden wurde. Als Beispiel sei das Verbot der bereits erwähnten Spaichelschen Drehbank genannt. Im Drahtgewerbe hingegen setzte sich die Bankzögersbank mit allen Konsequenzen durch. Diese Technik erforderte kaum noch Personal; die Arbeit beschränkte sich auf die

Überwachung der Anlage sowie das Anspitzen und Einführen des neuen Drahtes. Oft übernahmen Frauen diese Tätigkeit. In Iserlohn hatten die Drahtmacher im 16. Jahrhundert deshalb Schwierigkeiten, Arbeit zu bekommen.⁶⁴

Für Zündstoff sorgte häufig die Verlagerung von Produktionszweigen aus der Handarbeit zur Wasserkraft. Die Reichsstadt Köln verfügte über eine reiche Gewerbepalette, die in 22 Zünften wohlgeordnet war. Allerdings gab es im städtischen Territorium keine namhaften Wasserläufe, die für gewerbliche wassergetriebene Werke taugten. Im Gegensatz zum Bergischen Land: Dort liessen einige Kölner Harnischmacher auf Pleissmühlen ihre Harnische polieren. Verlierer waren die Kölner Harnischpolierer. Sie setzten zwar 1477 das Verbot auswärtiger Arbeiten durch, mussten dann aber 1482 Lockerungen hinnehmen.⁶⁵ Aus Solingen bezogen die Kölner Schwertfeger in der Mitte des 15. Jahrhunderts Rohschwerter, die dort schon auf Schleifkotten fertig geschärft waren. Verlierer waren die Schwertschmiede und Schleifer in Köln, aber auch die Solinger Schwertfeger, die ein Opfer des Preiskampfes wurden.⁶⁶

Das Gleiche spielte sich auch auf kleinerer Ebene ab. Die märkische Stadt Breckerfeld, südlich von Hagen gelegen, gehörte im 15. Jahrhundert zu den führenden Stahlerzeugern. Das änderte sich später: 1683 beklagte sich die Stahlgilde allen Ernstes beim Grossen Kurfürsten, die Gilde werde ganz zugrunde gerichtet, weil auf einem nahe gelegenen Hammerwerk in einer Woche mehr Stahl verfertigt werde als von der Stahlgilde in einem halben Jahr.⁶⁷ Als der Herzog von Kleve-Mark 1525 den Ausbau der gewerblichen Wasserkraftnutzung im Sauerland einschränkte, schrieb er die hauptsächlich mit Drahtmühlen besetzten Flüsse nicht auf die Liste. Hintergrund ist, dass die Stadt Lüdenscheid durch die Hammerwerke im Umland die eigene handwerkliche Produktion gefährdet sah.⁶⁸ Die Drahtstädte Iserlohn und Altena hingegen waren selbst Nutzniesser der Wasserkraft, solange die Automation keine Arbeitslosigkeit hervorrief. Aus leichtem Grunde konnte offenbar auch Nürnberg 1415 die Drahtmühle weiterentwickeln, ohne Unruhen zu provozieren.

Schluss

Die besprochenen Beispiele zeigen, dass die Text- und Bildquellen des Mittelalters und der frühen Neuzeit ihren technikgeschichtlichen Inhalt nur bei gründlicher Analyse der Begleitumstände korrekt preisgeben. Die Nürnberger Hausbücher sind voller technischer Ungenauigkeiten, aber doch in der Frühphase einzigartig. Es gibt keine besseren Darstellungen. Die möglichen Aussagen lassen sich jedoch anhand technologischer Kenntnisse und der späteren Überlieferung erschliessen. In einem eingeschränkten Masse – abhängig von der Zusammensetzung des in den Brüderhäusern aufgenommenen Personenkreises – wird ein Querschnitt durch das tatsächlich in Nürnberg existente Handwerk überliefert.

Der Mechaniktraktat des Konrad Gruter enthält zwar klare Beschreibungen und Illustrationen, wenngleich man diese Abbildungen zunächst perspektivisch entzerren muss. Das Herausziehen einzelner Maschinenelemente im Bild erscheint zukunftsweisend. Jedoch handelt es sich nicht um eine allgemeine Beschreibung der damaligen Ingenieurskunst. Das Buch ist für die Raritätensammlung des Königs von Dänemark bestimmt und somit kein Lehrbuch für Maschinenbaustudenten. Die dargestellten Sparten haben ein Übergewicht im Kriegswesen, besonders was die Eisengeräte betrifft. Die Schraube zum Aufbiegen von Gitterstäben mag, auch für andere Zwecke im Handwerksbereich, eine gewisse Verbreitung genossen haben. Auf den Kreishobel trifft das gewiss nicht zu. Leonardo war bei seinen Aufzeichnungen nicht an Zielgruppen gebunden, vielmehr notierte er alles, was ihn interessierte und was er dann weiterentwickelte. Gerade deshalb ist auch sein Werk kein Blick auf die damalige Wirklichkeit. Es belegt aber, was in der Renaissancezeit bereits ange-dacht worden war, auch wenn sich aus technischen oder gesellschaftlichen Gründen nicht alles umsetzen liess.

Die Quellengattung Urkunden ist nun ein Beispiel, bei dem absolut reale Belange niedergeschrieben wurden. Der Inhalt richtete sich jedoch nach den zu klärenden, meist rechtlichen Gesichtspunkten. Technologische Details haben auf dem Pergament selten Platz, sie waren den beteiligten Parteien in der Regel bekannt. Die beiden Iserlohner Urkunden von 1394 lassen, wie die Hausbücher, anhand anderer Informationen Rückschlüsse zu. Sie sind ausserdem ein wertvoller Beitrag in der Datierung. Anhand dieser und vieler anderer Zeugnisse einerseits und der damals noch nicht so weit fortgeschrittenen Komplexität in Werkzeug und Maschinenbau lässt sich heute ein durchaus detailliertes Bild projizieren über Technikgeschichte und die damit verbundenen gesellschaftspolitischen Umbrüche vor der Industriellen Revolution.

- ¹ Friedrich Harkort: Die Eisenbahn von Minden nach Köln, Hagen 1833, ND Hagen 1961, S. 22.
- ² Helmut Maintz: Sanierung karolingisches Mauerwerk, in: Schriftenreihe Karlsverein-Dombauverein 7, Aachen 2004, S. 8–79, hier S. 27–34.
- ³ Thomas Kreft: Das mittelalterliche Eisengewerbe im Herzogtum Berg und in der südlichen Grafschaft Mark [=Aachener Studien zur älteren Energiegeschichte 8], Herzogenrath 2002, S. 96 u. 111f. – Manfred Sönnecken: Die mittelalterliche Rennfeuerverhüttung im märkischen Sauerland [=Landeskundliche Karten und Hefte der Geographischen Kommission für Westfalen, Reihe Siedlung und Landschaft in Westfalen, 7], Münster 1971.
- ⁴ Werner Paravicini: Solingen, Hamburg, Brügge und Paris. Drei hansische Dokumente aus der Bibliothèque nationale de France, in: Élisabeth Mornet et. al., Milieux naturels, espaces sociaux. Études offertes à Robert Delort, Paris 1997, S. 565–580.
- ⁵ Karlheinz Goldmann: Zur Geschichte der Mendelschen Zwölfbrüderstiftung, in: Wilhelm Treue et al. (Hrsg.), Das Hausbuch der Mendelschen Zwölfbrüderstiftung zu Nürnberg. Deutsche Handwerkerbilder des 15. und 16. Jahrhunderts, 2 Bde., München 1965, S. 7–31, hier Textband, S. 7–9 u. 18.
- ⁶ Goldmann (wie Anm. 5), S. 26.
- ⁷ Heinz Zirnbauer: Geschichte des Mendelschen Brüderbuches und kunstgeschichtliche Würdigung seiner Bilder, in: Treue et al. (wie Anm. 5), S. 93. – Karin Schneider, Die Texte des Mendelschen Brüderbuches, in: ebd., S. 98.
- ⁸ Goldmann (wie Anm. 5), S. 10 u. 26. – Zirnbauer (wie Anm. 5), S. 94.
- ⁹ Otto Johannsen: Geschichte des Eisens, 3. Aufl. Düsseldorf 1953, S. 172.
- ¹⁰ Wolfgang von Stromer: Innovation und Wachstum im Spätmittelalter: Die Erfindung der Drahtmühle als Stimulator, in: Technikgeschichte 44 (1977), S. 89–120, hier S. 89–90.
- ¹¹ 1397 erwirkten Hinr[ich] Klenentoger und 1441 Gert Draetogher die Aufnahme als Bürger in Soest. Kreft, Eisengewerbe (wie Anm. 3), S. 144.
- ¹² Biringuccios Pirotechnia. Ein Lehrbuch der chemisch-metallurgischen Technologie und des Artilleriewesens aus dem 16. Jahrhundert. Übersetzt und erläutert von Dr. Otto Johannsen, Braunschweig 1925, S. 450 u. Abb. 73.
- ¹³ So Margarete Wagner: Nürnberger Handwerker. Bilder und Aufzeichnungen aus den Zwölfbrüderhäusern 1388–1807, Wiesbaden 1978, S. 25. – Stromer, Innovation (wie Anm. 10), S. 91 u. 97.
- ¹⁴ Kreft, Eisengewerbe (wie Anm. 3), S. 175.
- ¹⁵ Martin Burgess u. William Reid: A Habergeon of Westwale, in: The Antiquaries Journal, Vol. XL (1960), Jan.–April, S. 46–57, hier S. 46–48. – Kreft, Eisen-
- gewerbe (wie Anm. 3), S. 175–177.
- ¹⁶ Friedrich Klemm und Adolf Wißner: Die Handwerkstechnik im Mendelschen Brüderbuch, in: Treue et al. (wie Anm. 5), S. 103–107, hier S. 105. – Wolfgang von Stromer: Apparate und Maschinen von Metallgewerben in Mittelalter und Frühneuzeit, in: Handwerk und Sachkultur im späten Mittelalter [=Veröffentlichungen des Instituts für mittelalterliche Realienkunde Österreichs 11], Wien 1988, S. 127–149, hier S. 128, Anm. 1.
- ¹⁷ Treue et al. (wie Anm. 5), Bildband, S. 114. – Abbildung aus der Bilble moralisé in Propyläen Technikgeschichte, Bd. 2, Berlin 1997, S. 196.
- ¹⁸ Karl Wittmann: Die Entwicklung der Drehbank bis zum Jahre 1939, Düsseldorf 1960, S. 29ff.
- ¹⁹ Christoph Graf zu Waldburg Wolfegg: Venus und Mars. Das Mittelalterliche Hausbuch aus der Sammlung der Fürsten zu Waldburg Wolfegg, München 1997, fol. 53v – Vgl. Franz Maria Feldhaus: Die Technik der Antike und des Mittelalters, Potsdam 1931, S. 356.
- ²⁰ Klemm und Wißner (wie Anm. 16), S. 106. Franz Maria Feldhaus: Die Maschine im Leben der Völker. Ein Überblick von der Urzeit bis zur Renaissance. Basel 1954, S. 246f.
- ²¹ Dietrich Lohrmann, Horst Kranz, Ulrich Alertz (Hrsg.): Konrad Gruter von Werden. De Machinis et rebus mechanicis. Bd. I: Einleitung, Bd. II: Edition (mit deutscher Übersetzung und farbiger Wiedergabe aller Abbildungen). Rom 2006. Die im Folgenden zusammengefassten Lebensdaten Konrads sind entnommen aus Bd. 1, Kap. II.
- ²² Ebd., S. 112.
- ²³ Zu den Schiffmühlen vgl. Horst Kranz: Die Kölner Rheinmühlen. Untersuchungen zum Mühlenschrein, zu den Eigentümern und zur Technik der Schiffmühlen [=Aachener Studien zur älteren Energiegeschichte 1], Aachen 1991.
- ²⁴ Lohrmann, Kranz, Alertz (wie Anm. 21), Bd. 2, S. 131.
- ²⁵ Weitere Ausführungen hierzu siehe Thomas Kreft: Eisen und Stahl im ältesten Mechaniktraktat Westeuropas, in: Stahl und Eisen, Jg. 127 (2007), Heft 6–7, S. 150–153.
- ²⁶ Leonardo: Codex Madrid, ed. Ladislao Reti, Transkription und Übersetzung, 3 Bde., Frankfurt 1974.
- ²⁷ Lohrmann, Kranz, Alertz (wie Anm. 21), Bd. 1, S. 122: «... hörte ich doch von vielen Leuten sehr häufig, es sei konstruierbar und man erzähle sich verschiedene Bauanleitungen.» Vgl. auch ebd., S. 118, 123, 126, 131.
- ²⁸ Friedrich Klemm: Leonardo da Vinci und die Ingenieure seiner Zeit, in: Ders., Zur Kulturgeschichte der Technik. Aufsätze und Vorträge, München 1979, S. 123–138, hier S. 131. – Dietrich Lohrmann: Idee und Wirklichkeit des Perpetuum mobile im Mittelalter, in: Technikgeschichte 73 (2006), S. 227–251, hier S. 247–249.
- ²⁹ Klemm, Leonardo (wie Anm. 28), S. 126f u. 137.
- ³⁰ Vgl. Herbert Maschat: Leonardo und die Technik der Renaissance, München 1989, S. 149 u. 145f.
- ³¹ Vgl. ebd., S. 152f.
- ³² Ebd., S. 129–136.
- ³³ Franz Maria Feldhaus: Leonardo, der Techniker und Erfinder, Jena 1913, S. 64–66.
- ³⁴ Ebd., S. 54.
- ³⁵ Mario Taddei, Edoardo Zanon, Domenico Laurenza: Leonardo dreidimensional. Mit Computergrafik auf der Spur des genialen Erfinders, Stuttgart 2006, S. 168–171.
- ³⁶ Theodor Beck: Beiträge zur Geschichte des Maschinenbaues, 2. Aufl. Berlin 1910, S. 354–357.
- ³⁷ Kreft, Eisengewerbe (wie Anm. 3), S. 268–274.
- ³⁸ Ebd., S. 369, Nr. 36.
- ³⁹ Ebd., S. 369, Nr. 37.
- ⁴⁰ So auch Stromer, Apparate (wie Anm. 16), S. 140, und Jochen Wolters: Drahtherstellung im Mittelalter, in: Uta Lindgren, Europäische Technik im Mittelalter 800 bis 1400, Berlin 1998, S. 205–216, hier S. 208f.
- ⁴¹ Kreft, Eisengewerbe (wie Anm. 3), S. 140.
- ⁴² Ebd., S. 369, Nr. 38.
- ⁴³ Beschreibung der Stahldrahtziehereien in Lüdenscheid, Altena und Iserlohn in der Grafschaft Mark aus

- dem Jahr 1726, in: Metallgewerbe und Aus-senhandel in der Graf-schaft Mark 1674–1726 [= Westfälische Quellen und Archivpublikationen 20], Münster 1995, S. 20–46, hier S. 37f u. Abb. 3.
- ⁴⁴ Stromer, Innovation (wie Anm. 10), S. 92 u. 97–99. – Johannsen (wie Anm. 9), S. 174. – Wolters (wie Anm. 40), S. 212.
- ⁴⁵ Biringuccios *Pirotechnia* (wie Anm. 12), S. 449f u. Abb. 74.
- ⁴⁶ Stromer, Innovation (wie Anm. 10), S. 94. – Wolters (wie Anm. 40), S. 210.
- ⁴⁷ Kreft, Eisengewerbe (wie Anm. 3), S. 141. – Stromer, Innovation (wie Anm. 10), S. 103 u. 105. – Wolters (wie Anm. 40), S. 211f.
- ⁴⁸ Stefan Sensen: Zur Geschichte des Draht-ziehens in Deutschland, in: *Draht. Vom Ketten-hemd zum Supraleiter*, Iserlohn 2001, S. 63–92, hier S. 72.
- ⁴⁹ Wolters (wie Anm. 40), S. 209.
- ⁵⁰ Feldhaus, Maschine (wie Anm. 16), S. 219. – Ders., Technik (wie Anm. 19), S. 315.
- ⁵¹ Kreft, Eisengewerbe (wie Anm. 3), S. 48 u. 301.
- ⁵² Ebd., S. 296–300. – Sönn-ecken (wie Anm. 3), S. 8–38 u. Kartenbei-lage. – Hans-Ludwig Knau, Altena als Gewerbesiedlung im späten Mittelalter, in: *Der Märker* 47 (1998), S. 47–58.
- ⁵³ Kreft, Eisengewerbe (wie Anm. 3), S. 278–280.
- ⁵⁴ Ebd., S. 143.
- ⁵⁵ Dietrich Woeste: *Der Osemund* [= Altenaer Beiträge 16]. Altena 1985.
- ⁵⁶ Ernst Dossmann: Von der Drahtrolle zum Feindrahtwerk. Die Geschichte der Firma Heinrich Stamm GmbH Iserlohn-Grüne 1815–1990, Iserlohn 1990, S. 9.
- ⁵⁷ Jutta Tschoeke: Die Mühlen am Sand, in: *Centrum Industriekultur Nürnberg* (Hrsg.): *Räder am Fluss. Die Geschich-te der Nürnberger Mühlen*, Nürnberg 1989, S. 107–110, hier S. 107. Ohne Autorenangabe dort auch ein Plan der Pegnitzmühlen von 1601 im Faksimiledruck sowie eine Karte der Mühlenverteilung.
- ⁵⁸ Jürgen Franzke: Zug um Zug. Die Erfindung der Drahtmühle, in: *Centrum Industrie-kultur* (wie Anm. 57), S. 261–264, hier S. 262.
- ⁵⁹ Wilhelm Treue und Rudolf Kellermann: Die soziale und wirtschaft-liche Bedeutung des Nürnberger Handwerks im 15. und 16. Jahrhun-dert, in: Treue et al. (wie Anm. 5), S. 84.
- ⁶⁰ Klemm und Wißner (wie Anm. 16), S. 103.
- ⁶¹ Ebd., S. 104.
- ⁶² Die Chroniken der Stadt Nürnberg [= Die Chroni-ken der deutschen Städ-te 1.1], Bd. 1, Leipzig 1862, ND Stuttgart 1961, S. 260 u. 271.
- ⁶³ Otto Bauer: *Kapitalis-mus und Sozialismus nach dem [ersten] Weltkrieg*, Bd. 1: *Ratio-nalisierung Fehlrationa-lisierung*, Berlin 1931, S. 170.
- ⁶⁴ Kreft, Eisengewerbe (wie Anm. 3), S. 141.
- ⁶⁵ Ebd., S. 159f.
- ⁶⁶ Ebd., S. 233f.
- ⁶⁷ Ebd., S. 314.
- ⁶⁸ Knau (wie Anm. 51), S. 56.